

PENAPISAN KEDELAI TOLERAN CEKAMAN ALUMINIUM DAN KEKERINGAN¹⁾

(Screening of Soybeans Genotypes to Aluminum Toxicity and Drought Stress)

**Chairani Hanum²⁾, Wahyu Q. Mugnisjah³⁾, Sudirman Yahya³⁾,
Didy Sopandie³⁾ Komaruddin Idris³⁾, dan Asmarlaili Sahar^{3,4)}.**

ABSTRACT

The objective of this experiment was to screen 16 soybean genotypes tolerance to double stresses of Al toxicity and drought stress. A pot experiment was conducted at Cikabayan Experimental Station of Bogor Agricultural University from January to Maret 2004. Soybean plants were grown in Gajrug ultisol soil with pH 3.9 and Al saturated 26.61 me/100 g of soil. Al toxicity and drought tolerance were measured from the root length of seedling grown in 75% Al saturation and 40% field capacity compared to 25% Al saturation and 80% field capacity. The decrease of root length much lower at 75% Al saturation and 40% field capacity. Result of the study showed that soybean of Mocket, B.3799, Malabar, Wilis, Sindoro, and Slamet were tolerant while Dieng, Sinyonya, B.3780, Sicinang, B.3578, Ceneng, Epyek, MLG 3072, and Tidar were susceptible to Al toxicity and drought stress.

Key words: soybean, Al toxicity, drought stress, selection

PENDAHULUAN

Beberapa publikasi ilmiah telah melaporkan bahwa penghambatan pertumbuhan perakaran merupakan dasar untuk menentukan tanaman toleran dan peka cekaman Al (Ryan *et al.*, 1993). Hal ini disebabkan oleh penghambatan pertumbuhan ujung akar (*root apex*) yang terdiri dari tudung dan meristem akar yang merupakan target utama keracunan Al, sedangkan pertumbuhan pada zona perpanjangan tidak dipengaruhi oleh Al (Delhaize dan Ryan, 1995). Di samping itu, bagian apoplast dan simplas akar atau keduanya merupakan bagian yang menentukan pada proses eksklusi selular atau akumulasi pada sitoplasma yang menentukan ketahanan terhadap cekaman Al. Respons bagian ini juga lebih cepat jika dibandingkan dengan bagian lainnya (dalam menit) dan perbedaannya memperlihatkan signifikansi (Rengel, 1997).

Perakaran tanaman yang mengalami keracunan Al akan tampak pendek dan tidak memiliki perakaran lateral yang sehat (Sopandie *et al.*, 1995; Sopandie, 1999). Beberapa publikasi ilmiah telah melaporkan bahwa toleransi tanaman yang mengalami keracunan Al terkait dengan bagian perakaran. Akar merupakan bagian yang pertama kontak dengan Al, dan reaksinya relatif cepat (dalam waktu menit), sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanaman toleran Al (Ryan *et al.*, 1993). Begitu pula mekanisme adaptasi kedelai untuk mengatasi cekaman kekeringan telah banyak diteliti (Hamim *et al.*, 1996).

¹⁾ Bagian dari disertasi penulis pertama, Program Studi Agronomi, Sekolah Pascasarjana IPB

²⁾ Staf pengajar pada Fakultas Pertanian USU-Medan

³⁾ Berturut-turut Ketua dan Anggota Komisi Pembimbing

⁴⁾ Staf pengajar pada departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian USU-Medan

Penelitian ini mencoba untuk menerapkan kriteria panjang akar yang umum digunakan untuk menapis tanaman toleran Al untuk mencari tanaman toleran cekaman ganda Al dan kekeringan. Hal ini disebabkan oleh akar yang panjang tersebut dapat meningkatkan pengambilan hara dan air yang menyerupai "*jaring penyelamat hara*" yang akan menangkap unsur hara dan air sehingga tanaman lebih adaptif pada kondisi cekaman Al dan kekeringan (Hairiah *et al.*, 2000).

Pendekatan utama yang digunakan adalah melihat kemampuan tanaman dalam menghadapi cekaman Al dan kekeringan, yaitu dengan melihat kemampuan sistem perakaran. Fungsi perakaran sebagai badan penyerap hara dan air merupakan titik kritis bagi kelangsungan pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang menghadapi lingkungan yang tidak menguntungkan. Mackey (1980) dalam Gardner *et al.* (1991) menyatakan bahwa perbedaan pertumbuhan akar antargenotipe dapat digunakan sebagai kriteria seleksi untuk mencari tanaman toleran.

Penapisan untuk mencari kedelai toleran cekaman ganda Al dan kekeringan dapat dilakukan melalui uji hayati akar. Metode ini lebih mudah dan sederhana, yaitu dengan melihat pertumbuhan perakaran pada fase kecambah. Salah satu keuntungan menggunakan metode ini adalah biayanya lebih murah, waktunya singkat, dan dapat menapis dalam jumlah besar serta terbukti memiliki akurasi yang tinggi. Akar yang mampu berkembang pada fase embrionik juga akan menghasilkan pertumbuhan yang baik. Kriteria yang digunakan adalah dengan cara membandingkan nilai relatif panjang akar pada kondisi normal dengan kondisi tercekam, jika nilai relatif lebih besar dari 50% tanaman dikelompokkan ke dalam kriteria toleran, sedangkan jika nilai relatif lebih kecil dari 50% dikelompokkan ke dalam kriteria peka.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan sejak Januari sampai Maret 2004 di rumah kaca, Kebun Percobaan Cikabayan, Institut Pertanian Bogor.

Bahan Tanaman

Benih kedelai yang digunakan adalah 16 genotipe kedelai yang berasal dari Balai Penelitian Bioteknologi (Balitbio) Bogor. Daftar nama genotipe yang digunakan dan sifat ketenggangannya terhadap cekaman Al dan kekeringan terdapat pada Tabel 1.

Media Tanah

Tanah yang digunakan sebagai media tumbuh adalah tanah ultisol Gajrug dengan pH 3.9 dan Al-dd 26.61 me/100 g tanah. Kapur yang digunakan untuk menentukan tingkat kejenuhan Al sesuai perlakuan adalah CaCO_3 dengan daya netralitas 80.05.

Metode Percobaan

Percobaan pot ini disusun dalam percobaan faktorial dengan rancangan acak lengkap (RAL) dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah berbagai tingkat cekaman aluminium yang terdiri dari 5 taraf: A1 = indeks kejenuhan Al 0% (33.242 g kapur/kg tanah); A2 = indeks kejenuhan Al 25% (17.022 g kapur/kg tanah); A3 =

indeks kejenuhan Al 50% (8.434 g kapur/kg tanah) ; A4 = indeks kejenuhan Al 75% (0.154 g kapu/kg tanah); A5 = indeks kejenuhan Al 100% (0 g kapur/kg tanah). Faktor kedua adalah tingkat cekaman kekeringan berdasarkan persentase kadar air tanah terhadap kadar air pada kapasitas lapang (KL), yang terdiri dari tiga taraf: $K_1 = 80\% \text{ KL}$; $K_2 = 60\% \text{ KL}$; $K_3 = 40\% \text{ KL}$. Penetapan jumlah air yang ditambahkan untuk mencapai kadar air tanah kapasitas lapang yang dibutuhkan dilakukan dengan metode Alhricks. Faktor ketiga adalah genotipe kedelai yang terdiri 16 genotipe sebagaimana yang disajikan pada Tabel 1.

Sebelum ditanam dalam bak kecambah yang berisi pasir, benih kedelai direndam selama 20 menit dengan *Benlate* untuk mencegah serangan cendawan. Setelah berumur 5 hari atau telah memiliki dua daun, bibit dipindahkan ke dalam polibag berukuran 15 cm x 10 cm yang berisi 1 kg tanah. Pada awal pertumbuhan bibit, dilakukan pemberian air setara dengan 80% kapasitas lapang untuk semua perlakuan. Setelah 5 hari berada dalam polibag baru diperlakukan cekaman kekeringan sesuai dengan perlakuan, dengan menggunakan metode penimbangan.

Tabel 1. Genotipe kedelai yang digunakan dan ketenggangan terhadap cekaman Al atau kekeringan

No	Genotipe		Tingkat toleransi	
	Nama	Sandi	Al	Kekeringan
1	B.3799	V1	Toleran	
2	B.3780	V2	Toleran	
3	Sicinang	V3	Toleran	
4	B.3578	V4	Toleran	
5	Moket	V5	Toleran	
6	Malabar	V6	Moderat	
7	Wilis	V7	Moderat	
8	Lumut	V8	Peka	
9	Sindoro	V9	Toleran	
10	Sinyonya	V10		Toleran
11	Ceneng	V11		Toleran
12	Dieng	V12		Toleran
13	Epyek	V13		Toleran
14	MLG 3072	V14		Peka
15	Tidar	V15		Toleran
16	Slamet	V16	Toleran	

Pengamatan dan Analisis Data

Pengamatan dilakukan pada umur 20 hari setelah tanam. Peubah yang diamati meliputi (1) panjang akar, diukur dari pangkal akar sampai ujung akar yang terbentuk, (2) panjang tunas, diukur dari pangkal tunas sampai ujung tunas yang terbentuk, (3) bobot kering akar, diamati setelah tanaman dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam, dan (4) bobot kering tunas, diamati setelah tanaman dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam.

Untuk mengklasifikasikan ketenggangan genotipe kedelai yang digunakan, dilakukan penghitungan nilai relatif panjang akar, yaitu dengan membandingkan panjang akar kedelai pada kondisi tercekam dengan perlakuan kondisi normal. Jika nilai relatif panjang akar yang dihasilkan di atas 50%, genotipe kedelai diklasifikasikan toleran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Respons panjang dan bobot kering akar pada berbagai taraf cekaman aluminium

Hasil pada Tabel 2 dan Tabel 3 masing-masing memperlihatkan panjang dan bobot kering akar enam belas genotipe kedelai terbaik pada indeks kejenuhan Al 25%, bukan pada indeks kejenuhan Al 0%. Pada indeks kejenuhan Al 100% (tidak dilakukan pengapuran), pertumbuhan kedelai sangat tertekan. Oleh karena itu, untuk penentuan toleransi terhadap cekaman ganda Al dan kekeringan kondisi normalnya, ditetapkan pada indeks kejenuhan Al 25% kadar air tanah 80% KL, dan untuk menghindari cekaman yang terlalu hebat, kondisi tercekam ditetapkan pada indeks kejenuhan Al 75% dengan kadar air tanah 40% KL.

Tabel 2. Panjang akar enam belas genotipe kedelai terhadap cekaman Al

No.	Genotipe	Panjang akar (cm) menurut kejenuhan Al				
		0%	25%	50%	75%	100%
1	B.3799	4.633g-r	5.388b-l	4.150b-k	4.133b-k	3.466b-f
2	B.3780	5.020d-q	7.710s-w	7.200r-v	4.700c-o	4.690c-o
3	Sicinang	3.997g-r	5.531b-k	4.933d-q	2.878bc	2.760b
4	B.3578	4.411b-l	6.689n-u	6.378l-u	4.389b-l	4.067b-k
5	Moket	4.810i-t	5.840d-p	4.055b-k	3.830b-j	3.700b-g
6	Malabar	4.967d-q	4.601c-m	6.310l-u	5.906k-t	4.310b-l
7	Willis	4.310b-l	9.356w	6.878p-u	5.467g-r	5.200e-r
8	Lumut	3.800b-h	5.889k-t	6.487m-u	3.826b-i	3.678b-g
9	Sindoro	9.022vw	14.989yz	13.910x-z	9.567w	4.456b-m
10	Sinyonya	5.533g-r	19.922z	6.855p-u	6.233l-u	4.722c-o
11	Ceneng	5.088d-q	9.323w	8.088u-w	4.800d-p	4.588c-m
12	Dieng	4.977d-q	7.733s-w	6.722c-u	5.866d-p	4.867r-v
13	Epyek	4.544c-m	7.987u-w	7.900t-w	4.633c-n	4.730c-o
14	MLG 3072	6.322l-u	5.778h-s	4.740d-o	3.389b-e	0.001a
15	Tidar	4.930d-q	5.212e-r	6.955q-u	3.922b-d	3.230b-k
16	Slamet	15.767x-z	13.055xy	12.144x	3.922x	5.730h-s
Rata-rata		5.578	8.615	7.216	4.903	4.280

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda dalam uji Duncan pada taraf 5%

Tabel 3. Bobot kering akar enam belas genotipe kedelai pada berbagai indeks kejenuhan Al

No.	Genotipe	Bobot kering akar (g) menurut indeks kejenuhan Al				
		0%	25%	50%	75%	100%
1	B.3799	0.082a-f	0.453a-g	0.407a-f	0.051a-g	0.039a-e
2	B.3780	0.048a-g	0.111c-h	0.097a-h	0.088b-h	0.057a-g
3	Sicinang	0.053a-g	0.085a-g	0.060a-g	0.047a-f	0.028a-e
4	B.3578	0.042a-f	0.060a-g	0.049a-f	0.041a-f	0.039a-f
5	Moket	0.055a-g	0.077a-g	0.313a-e	0.261a-e	0.019a-c
6	Malabar	0.056i-l	0.245a-g	0.060a-f	0.047a-g	0.010c-h
7	Willis	0.065a-g	0.196h-k	0.088a-g	0.082a-h	0.054a-g
8	Lumut	0.052a-g	0.080a-g	0.063a-g	0.054a-e	0.038a-g
9	Sindoro	0.157g-j	0.267kl	0.111c-h	0.078a-g	0.029kl
10	Sinyonya	0.058a-g	0.282kl	0.119c-h	0.115c-h	0.076a-g
11	Ceneng	0.068a-g	0.143f-i	0.077a-g	0.076a-g	0.049a-g
12	Dieng	0.072a-g	0.129e-h	0.096a-g	0.074a-g	0.060b-h
13	Epyek	0.069a-g	0.113c-h	0.072a-g	0.070a-e	0.034a-g
14	MLG 3072	0.043a-f	0.059a-g	0.032a-d	0.022a-e	0.001a
15	Tidar	0.037a-f	0.054a-g	0.048a-f	0.039a-f	0.037a-g
16	Slamet	0.415a-g	0.670mn	0.508a-g	0.500a-g	0.044a-g
Rata-rata		0.086	0.189	0.138	0.108	0.037

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda dalam uji Duncan pada taraf 5%

Secara umum peningkatan cekaman dari Al 25% menjadi Al 50% menurunkan panjang akar kecuali tiga genotipe, yaitu Malabar, Lumut, dan Tidar. Genotipe kedelai yang mempunyai akar terpanjang adalah Sinyonya pada Al 25% (19.922 cm), Sindoro pada Al 50% (13.910 cm) dan Al 75% (9.567cm), sedangkan pada Al 100% terdapat pada Wilis (5.200 cm) (Tabel 2).

Pola yang sama juga terdapat pada bobot kering, peningkatan cekaman dari indeks kejenuhan Al 25% menjadi 50% mengakibatkan penurunan bobot kering akar. Hasil penelitian pada Tabel 3 ini memperlihatkan bahwa bobot kering akar tertinggi pada Al 25% sampai Al 75% terdapat pada genotipe Slamet dengan bobot kering berturut-turut 0.670, 0.508, dan 0.500 g. Genotipe ini juga memiliki kemampuan beradaptasi pada Al 100% dengan bobot kering akar yang tidak berbeda nyata dengan genotipe B.3780 dan Wilis.

Secara relatif terdapat perbedaan derajat penurunan pertumbuhan akar akibat cekaman ganda yang bergantung pada genotipe tanaman, kecuali Malabar yang mengalami kenaikan bobot kering dan panjang akar pada kondisi tercekam. Perlakuan cekaman ganda Al dan kekeringan menurunkan bobot kering akar kedelai, kecuali Malabar yang mengalami kenaikan sebesar 29%. Pola yang sama juga terdapat pada peubah panjang akar, kondisi tercekam menurunkan panjang akar pada lima belas genotipe kedelai, sedangkan satu genotipe, yaitu Malabar, mengalami kenaikan sebesar 205% (Tabel 4).

Tabel 4. Pertumbuhan akar kedelai pada kondisi normal dan tercekam

Genotipe	Bobot kering akar			Panjang akar		
	Normal Al 25% 80% KL (g)	Tercekam Al75% 40% KL (g)	Penurunan (%)	Normal Al25% 0% KL (g)	Tercekam Al75% 40% KL (g)	Penurunan (%)
<i>Genotipe toleran Al</i>						
B.3780	0.16b-l	0.06a-h	63	8.47z	4.20c-z	50
Sicinang	0.06a-h	0.04a-f	33	5.20d-z	2.43a-c	53
B.3578	0.08a-h	0.03a-c	63	7.50w-z	3.23c-i	57
Moket	0.08a.h	0.03a-c	63	6.30i-z	3.83c-v	39
Malabar	0.07a.h	0.09a-h	-29	4.53d-z	13.83z	-205
Sindoro	0.35m-o	0.05a-h	86	11.10z	10.83z	2
Slamet	0.59q-t	0.03a-c	95	14.17z	9.50z	33
B.3799	0.07a-h	0.03a-c	57	5.53d-z	4.77d-z	14
<i>Genotipe peka Al</i>						
Lumut	0.14a-l	0.02a-c	86	7.77z	3.81c-y	51
<i>Genotipe toleran kekeringan</i>						
Tidar	0.07a-h	0.05a-h	29	3.57c-r	1.17a-c	67
Sinyonya	0.61r-t	0.04a-f	93	18.73z	5.60d-z	70
Ceneng	0.18c-m	0.04a-f	78	10.73z	3.60c-s	66
Dieng	0.18c-m	0.02a-e	89	8.90z	3.43c-o	61
Epyek	0.15a-l	0.03a-c	80	10.13z	4.90d-z	52
<i>Genotipe peka kekeringan</i>						
MLG 3072	0.13a-k	0.03a-c	77	7.90z	3.17b-l	60
<i>Genotipe moderat Al dan kekeringan</i>						
Wilis	0.15a-l	0.06a-h	60	8.63z	5.30d-z	39

Keterangan: pada peubah yang sama angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dalam uji wilayah berganda Duncan pada taraf 5%

Panjang tajuk dan bobot kering tajuk

Secara umum bobot kering tajuk tanaman mengalami penurunan akibat cekaman ganda Al dan kekeringan, kecuali genotipe Sicinang, Malabar, dan B.3799 yang mengalami kenaikan. Berbeda dengan peubah bobot kering tajuk, seluruh genotipe yang diuji mengalami penurunan panjang tajuk pada kondisi tercekam (Tabel 5). Penurunan panjang tajuk paling tinggi akibat perlakuan cekaman ganda terjadi pada genotipe MLG 307 (88%), sedangkan genotipe yang sedikit mengalami penurunan panjang tajuk adalah Sindoro sebesar 8%.

Tabel 5. Pertumbuhan tajuk kedelai pada kondisi normal dan tercekam

Genotipe	Bobot kering tajuk			Panjang tajuk		
	Normal AI 25% 80% KL (g)	Tercekam AI 75% 40% KL (g)	Penurunan (%)	Normal AI 25% 80% KL (cm)	Tercekam AI 75% 40% KL (cm)	Penurunan (%)
<i>Genotipe toleran AI</i>						
B.3780	1.02z	0.14c-z	86	26.63z	7.40f-z	72
Sicinang	0.18u-z	0.23z	-28	14.27z	8.47k-z	41
B.3578	0.33z	0.03a-i	91	14.60z	3.27a-j	78
Moket	0.30z	0.19z	37	17.33z	7.77h-z	55
Malabar	0.37z	0.52z	-41	15.37z	7.60g-z	51
Sindoro	0.39z	0.14o-z	64	22.00z	20.00 z	8
Slamet	0.19x-z	0.11i-z	42	27.33z	23.00z	16
B.3799	0.26z	0.83d-t	-19	15.90z	3.33a-j	79
<i>Genotipe peka AI</i>						
Lumut	0.51z	0.04a-k	92	21.77	6.83d-w	69
<i>Genotipe toleran kekeringan</i>						
Tidar	0.14o-z	0.029a-i	79	2.73a-g	0.90a-c	67
Sinyonya	1.05z	0.14a-d	87	25.97z	9.03-z	65
Ceneng	0.91z	0.15o-z	84	27.30z	8.23j-z	70
Dieng	0.87z	0.14n-z	84	30.83z	8.67i-z	72
Epyek	0.84z	0.12o-z	86	25.80z	8.97i-z	65
<i>Genotipe peka kekeringan</i>						
MLG 3072	0.81z	0.09d-v	89	21.70z	2.53a-e	88
<i>Genotipe moderat AI dan kekeringan</i>						
Wilis	0.03a-h	0.01a-d	67	21.83z	7.60g-z	65

Keterangan: pada peubah yang sama angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata dalam uji wilayah berganda Duncan pada taraf 5%

Toleransi tanaman

Berdasarkan hasil perhitungan perbandingan panjang akar pada kondisi normal dengan tercekam diperoleh genotipe toleran cekaman ganda AI dan kekeringan, yaitu Moket, Malabar, Sindoro, Slamet, B.3799, dan Wilis, sedangkan genotipe yang tergolong peka adalah B.3780, Sicinang, B.3578, Lumut, Tidar, Sinyonya, Ceneng, Epyek, dan MLG 3072 (Tabel 6).

Tabel 6. Klasifikasi toleransi genotipe kedelai terhadap cekaman AI dan kekeringan berdasarkan nilai relatif panjang akar

Genotipe	Panjang akar				Nilai relatif (%)	Kriteria
	Tercekam		Normal			
	AI 75% 40% KL	(cm)	AI 25% 80% KL	(cm)		
<i>Genotipe toleran AI</i>						
B.3780		4.20		8.47	49	P
Sicinang		2.43		5.20	47	P
B.3578		3.23		7.50	43	P
Moket		3.83		6.30	61	T
Malabar		13.83		4.53	305	T
Sindoro		10.83		11.10	98	T
Slamet		9.50		14.17	67	T
B.3799		4.77		5.53	86	T
<i>Genotipe peka AI</i>						
Lumut		3.81		7.77	49	P
<i>Genotipe toleran kekeringan</i>						
Tidar		1.17		3.57	33	P
Sinyonya		5.60		18.73	30	P
Ceneng		3.60		10.73	34	P
Dieng		3.43		8.90	39	P
Epyek		4.90		10.13	48	P
<i>Genotipe peka kekeringan</i>						
MLG 3072		3.17		7.90	40	P
<i>Genotipe moderat AI dan kekeringan</i>						
Wilis		5.30		8.63	61	T

Keterangan: P= peka, dan T= toleran

Pembahasan

Respons panjang akar dan bobot kering akar pada berbagai taraf cekaman Al

Pengapuran pada tanah dengan kandungan Al tinggi diduga dapat memberikan kondisi yang baik untuk pertumbuhan tanaman, melalui penurunan aluminium dan/atau Mn (Friesen *et al.*, 1980). Ketersediaan air tanah yang cukup memberikan pengaruh positif terhadap proses penyerapan dan ketersediaan hara serta aktivitas metabolik tanaman sehingga pertumbuhan tanaman lebih baik (Gardner *et al.*, 1991). Fitter dan Hay (1994) menyatakan laju pertumbuhan sel tanaman dan efisiensi proses fisiologis mencapai tingkat tertinggi pada kondisi ini.

Peningkatan pemberian kapur mencapai kejenuhan Al 0% pada berbagai tingkat kadar air tanah menyebabkan penurunan pada semua peubah pengamatan (Tabel 2 dan 3). Dari hasil pengukuran pH ditemukan bahwa pada keadaan ini, pH mencapai 7.55, diduga kondisi ini membuat tanaman defisiensi unsur mikro seperti Fe, Mn, Cu, dan Zn serta menurunnya ketersediaan P. Selain itu, kelebihan kapur dapat menyebabkan akumulasi Ca yang berlebihan sehingga ion Ca mendominasi permukaan lamella tengah sel-sel akar yang mengganggu penyerapan beberapa kation lainnya yang bervalensi satu. Peningkatan Ca juga akan mempengaruhi pH sel yang berakibat pada stabilitas dan permeabilitas membran sel (Bennet, 1995).

Panjang dan bobot kering akar

Persentase penurunan panjang akar 6 dari 8 genotipe kelompok toleran Al lebih kecil atau sama dengan 50%, sedangkan genotipe toleran kekeringan mengalami penurunan yang lebih besar dari 50% (Tabel 4). Hal ini disebabkan oleh perakaran genotipe toleran kekeringan yang tidak mempunyai kemampuan beradaptasi terhadap kadar Al yang tinggi pada media tanah. Perlakuan Al tinggi menyebabkan kelompok toleran kekeringan mengalami kerusakan yang lebih parah sehingga mengakibatkan penurunan panjang akar yang lebih besar jika dibandingkan dengan kelompok toleran Al. Berikatananya Al dengan perakaran pada kelompok ini akan menyebabkan penghambatan pembelahan dan perpanjangan sel akar (Matsumoto, 1991) sehingga menghambat perpanjangan akar (Marschner, 1992).

Tanaman kelompok toleran Al memiliki kemampuan memulihkan dan menekan pengaruh buruk keracunan aluminium sehingga fungsi akar tidak terganggu. Pertumbuhan akar yang tidak terganggu oleh keberadaan Al juga akan memiliki kemampuan untuk beradaptasi pada cekaman kekeringan. Hal inilah yang mengakibatkan kedelai toleran Al memiliki kemampuan untuk beradaptasi pada cekaman ganda Al dan kekeringan.

Data menunjukkan bahwa tidak semua genotipe yang sebelumnya dikategorikan toleran Al dapat digolongkan toleran pada cekaman ganda Al dan kekeringan. Tiga genotipe tersebut adalah B.3780, Sicinang, dan B.3578. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa genotipe yang toleran Al tidak selalu toleran terhadap cekaman kekeringan. Hal ini mungkin disebabkan oleh genotipe yang toleran Al hanya toleran terhadap cekaman Al, sedangkan terhadap cekaman kekeringan sangat peka. Di samping itu, kemampuan tanaman beradaptasi terhadap cekaman kekeringan tidak hanya ditentukan oleh panjang akar, tetapi juga ditentukan oleh proliferasi sistem perakaran (jumlah akar per satuan luas) (Jordan dan Miller, 1980). Jumlah, panjang, dan kerapatan akar yang lebih besar

akan membentuk rambut akar dalam jumlah banyak, yang berakibat terhadap peningkatan luas bidang serap, karena bagian ini merupakan komponen sistem yang paling efektif dalam absorpsi air (Gardner *et al.*, 1991).

Pada kondisi tercekam (AI 75% kadar air tanah 40% KL), genotipe Malabar merupakan genotipe yang mengalami kenaikan bobot kering akar dan panjang akar (Tabel 3). Hasil ini diduga disebabkan oleh kemampuan genotipe ini beradaptasi pada AI tinggi, dan keterbatasan ketersediaan air tanah. Foy (1983) melaporkan penemuannya bahwa konsentrasi AI yang rendah pada tanah dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Watanabe *et al.* (1997) juga menemukan adanya peningkatan pertumbuhan pada spesies asli tanah masam pada keberadaan AI konsentrasi rendah walaupun mekanisme peningkatan pertumbuhan tanaman akibat keberadaan AI belum begitu jelas.

Panjang tajuk dan bobot kering tajuk

Peningkatan bobot kering tajuk pada tiga genotipe (Sicinang, Malabar, dan B.3799) diduga karena kelompok ini memiliki laju pertumbuhan tajuk yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan genotipe lainnya (Tabel 5). Hal ini sesuai dengan penjelasan Blum *et al.* (1997) yang menyatakan bahwa perbedaan pertumbuhan tajuk dapat disebabkan oleh perbedaan laju (pertumbuhan) pembentukan sel-sel meristematik, terutama daun yang nantinya akan mempengaruhi kemampuan fotosintesis dan akumulasi bahan organik yang akhirnya akan berakibat pada pertumbuhan bagian atas tanaman. Di samping itu, ketiga genotipe ini berasal dari kelompok toleran AI yang diduga memiliki sifat lebih efisien dalam memanfaatkan hara N (Syakhril, 1997), Ca, P, Mg, K, Fe, dan Mn (Sunarto, 1993). Sifat yang lebih efisien dalam memanfaatkan hara ini akan menyebabkan pertumbuhan tajuk yang lebih baik.

Penurunan panjang dan bobot kering tajuk pada 13 genotipe lainnya disebabkan oleh pengaruh tidak langsung dari terganggunya pertumbuhan akar (Tabel 5). Kerusakan struktur dan fungsi akar menyebabkan berkurangnya kemampuan akar menyerap hara dan air yang tersedia dari dalam tanah sehingga translokasi air dan hara ke bagian tajuk berkurang. Penghambatan absorpsi hara pada kondisi ini telah banyak dilaporkan seperti absorpsi fosfat (Mouat dan Nes, 1986), laju pengambilan N (Rego *et al.*, 1986), serta penurunan aktivitas enzim nitrat reduktase (Fitter dan Hay, 1994). Defisiensi hara dan penurunan aktivitas enzim ini berakibat penghambatan pada beberapa metabolisme penting dalam tanaman sehingga pertumbuhan bagian atas tanaman turut terhambat (Rengel, 1997).

Terbatasnya kemampuan tanaman dalam mengabsorpsi air juga akan mengakibatkan terjadinya pengurangan daun baik melalui penuaan maupun absisi daun bagian bawah, serta pengurangan pembentukan daun baru (Hsiao, 1973). Penurunan luas dan jumlah daun ini berasosiasi dengan penurunan aktivitas fotosintesis, yang menyebabkan berkurangnya partisi biomassa tanaman. Randal dan Sinclair (1988) juga menemukan penghambatan pertumbuhan dan perkembangan daun kedelai akibat penurunan potensial air, yang menyebabkan penurunan biomassa tanaman.

Toleransi tanaman

Tingkat toleransi terhadap cekaman AI dan kekeringan ditentukan dengan cara membandingkan nilai relatif panjang akar pada kondisi tercekam dengan

kondisi normal. Taylor (1991) menyatakan bahwa tanaman yang mampu mengembangkan sistem perakarannya pada lahan dengan kandungan Al tinggi akan lebih adaptif pada keterbatasan air tanah. Fageria *et al.* (1988) juga menyatakan akar yang sanggup untuk tumbuh terus dan ujung akar tidak rusak akan lebih adaptif pada cekaman kekeringan.

Toleransi tidak didasarkan pada perubahan bobot kering akar karena perubahan bobot kering akar lebih banyak ditentukan dan dipengaruhi oleh bagian tengah dan pangkal akar, sedangkan bagian ujung akar memberikan kontribusi yang rendah terhadap bobot kering akar. Di samping itu, pada bagian tengah dan pangkal akar terdapat jaringan yang lebih tua dan banyak terdapat akar sekunder (Muhidin, 2000). Bagian pangkal akar lebih berperan pada transpor dan penyimpanan bahan sehingga memiliki biomassa yang lebih besar daripada bagian akar lainnya, sedangkan bagian yang paling berperan pada serapan hara dan air adalah ujung akar (Gardner *et al.*, 1991). Oleh karena itu, dalam penapisan genotipe kedelai toleran cekaman ganda Al dan kekeringan ini digunakan pendekatan dengan menapis genotipe-genotipe yang memiliki akar yang panjang dan subur. Hal ini sesuai dengan pernyataan Jordan dan Miller (1980) yang menyatakan bahwa adaptasi tanaman terhadap cekaman lingkungan yang kurang menguntungkan sangat bergantung pada sistem perakaran, akar yang panjang dan subur memiliki bidang jelajah yang lebih besar sehingga akan lebih mampu menyerap hara dan air.

Berdasarkan nilai relatif panjang akar, genotipe toleran cekaman ganda Al dan kekeringan umumnya berasal dari kelompok genotipe toleran Al. Tanaman yang toleran terhadap Al memiliki kemampuan menekan pengaruh buruk Al, dengan cara mengurangi serapan ion Al^{3+} oleh akar, dan memiliki berbagai cara untuk menetralkan pengaruh racun Al yang terserap ke dalam jaringan sehingga pertumbuhan akar tidak terganggu (Kasim *et al.*, 2001). Akar yang panjang memiliki bidang jelajah per satuan volume tanah yang lebih besar jika dibandingkan dengan akar yang pendek sehingga kemampuan pengambilan air lebih besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- (1) Pengaruh cekaman ganda Al dan kekeringan terhadap pertumbuhan lebih berat pada genotipe toleran kekeringan daripada genotipe toleran Al.
- (2) Genotipe yang toleran cekaman ganda Al dan kekeringan adalah Meket, Malabar, Sindoro, Slamet, B.3799, dan Wilis, sedangkan genotipe kedelai yang peka adalah Dieng, Sinyonya, B.3780, Sicinang, B.3578, Ceneng, Epyek, MLG 3072, Lumut, dan Tidar.

Saran

Disarankan agar beberapa genotipe yang toleran terhadap cekaman Al dan kekeringan yang diperoleh dalam penelitian ini dilanjutkan pengujiannya di lapangan dan dipertimbangkan penggunaannya untuk perbaikan sifat kedelai.

DAFTAR PUSTAKA

- Bennet, R.J. 1995. The use of hematoxylin in screening perennial rygrass (*Lolium perenne*) for aluminium tolerance. *South African J. Plant and Soil* 12(2): 65-72.
- Blum, A., Sullivan, C.Y., and Nguyen, H.T. 1997. The effect of plant size on wheat response to agents of drought stress. II. Water defisit, heat and ABA. *Aust J. Plant Physiol.* 24:43-48.
- Delhaize and Ryan, P.R. 1995. Aluminium toxicity and tolerance in plant. *Plant Physiol.* 107 : 315 – 321.
- Fageria, N.K, Wright, R.J. and Baligar, V.C. 1988. Rice cultivar respon to aluminum in nutrient solution. *Soil Sci. and Plant Ann.* 9 : 1133-1142.
- Fitter, A.H. and Hay, R.K.M. 1994. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Terjemahan. Sri Andani dan Pubayanti (Eds). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Foy, C.D. 1983. The physiology of plant adaptation to mineral stress. *J.Res.* 57: 355-342.
- Friesen, D.K., Juo, A.S.R., and Miller, M.H. 1980. Liming and lime phosphorus-zinc interaction in two Nigerian Ultisols interaction in the soil. *Soil Sci.Soc.Am.J.*44: 1221-1226
- Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchel, R.L. 1991. *Physiology of Crop Plants*. America: The Iowa State University Press.
- Hairiah *et al.* 2000. *Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi (Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara)*. Bogor: ICRAF.
- Hamim, Sopandie, D. dan Jusuf, M. 1996. Beberapa karakteristik morfologi dan fisiologi kedelai toleran dan peka terhadap kekeringan. *Hayati* 3(1): 30-34.
- Hsiao, T.C.1973. Plant responses to water stress. *Annu Rev.Plant Physiol.*: 92:595-601.
- Jordan, W.R. and Miller, F.R. 1980. Genetic variability in sorghum root system implication for drought tolerance. Di dalam: Turner NC and Kramer PJ (eds). *Adaptation of Plant to Water and High Temperatur Stresses*. New York: John Wiley Sons.
- Kasim, N., Sopandie, D., Harran, S., dan Jusuf, M. 2001. Pola akumulasi dan sekresi asam sitrat dan asam malat pada beberapa genotipe kedelai toleran dan peka aluminium. *Hayati* 8(3): 58-61.
- Marschner, H. 1992. Mechanisms of adaptation of plants on acid soils. *Plant and Soil* 134: 1-20.

- Matsumoto, H. 1991. Biochemical mechanism of the toxicity of aluminium and the sequestration of aluminium in plant cells. Di dalam Wright *et al.* (Eds). *Plant Soil Interaction at Low pH*. Netherlands: Kluwer Academic Publ. hlm. 825-836.
- Mouat, M. and Nes, P. 1986. Influence of soil water content on the supply of phosphate to plants. *Australian Journal Soil Res.*24: 435-440.
- Muhidin. 2000. Evaluasi toleransi beberapa galur/varietas kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) terhadap cekaman aluminium [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Randal, H.C. and Sinclair, T.R 1988. Sensitivity of soybean leaf development to water defisit. *Plant Cell. Environ.* 11:835-839.
- Rengel, Z. 1997. Role of calcium in aluminium. *New Phytol.* 21: 499-513.
- Rego, T.J., Grundon, N.J., Ashe, C.J. and Edwards, D.G. 1986. Effect of water stress on nitrogen nutrition of grain sorghum. *Plant Physiol.* 13: 499-508.
- Ryan, P.R., Tomase, J.M.D. and Kochian, L.V. 1993. Aluminum toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. *Exp. Bot.* 44: 437-446.
- Syakhril. 1997. Evaluasi reaksi galur padi gogo terhadap cekaman aluminium dan kekurangan nitrogen [tesis]. Bogor: Progam Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Sopandie,D., M. Yusuf, Hamim, dan Supijatno. 1995. Fisiologi dan genetika daya adaptasi kedelai terhadap cekaman kekeringan dan pH rendah dengan Al tinggi. Laporan Akhir Riset Unggulan Terpadu I (RUT I). Dewan Riset Nasional.
- Sopandie, D. 1999. Differential aluminum tolerance of soybean genotypes related to nitrat metabolism and organic acid exudation. *Comm. Ag.* 5(1) 13-20.
- Sunarto. 1993. Tolerance evaluation to aluminum stress of several soybean pure lines. *Zuriat.* 14(1): 61-64.
- Taylor, G.J. 1991. Current views of the aluminium stress response. The physiological basis of tolerance. *Cum.Topics Plant Biochem. Physiol.*: 57-93.
- Watanabe, T., Osak, M. and Tadano, T. 1997: Aluminum-induced growth stimulation in relation calcium, magnesium, and silicate nutrition in *Melastoma malabathricum* L. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43(4): 827-837.